



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (бакалаврская работа)

На тему «Особенности климатических изменений температуры и осадков над
акваторией моря Баффина»

Исполнитель **Родова Софья Дмитриевна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Лебедев Андрей Борисович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

«*20*» июня 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе речь пойдёт о море Баффина, обширной акватории, омывающей западное побережье Гренландии. Оно относящейся к бассейну Северного Ледовитого океана. В связи с глобальными изменениями климата планеты и таянием ледников климат моря Баффина так же претерпевает изменения. Важно отслеживать эти изменения и, в будущем, успешно их предсказывать, чтобы хозяйственная деятельность региона успешно развивалась. *Цель работы:* проанализировать, как изменялся климат моря Баффина в последние десятилетия, подобрать более подходящую модель для оценки климатических изменений. В первой главе речь пойдёт о географических, климатических и других особенностях моря.

Во второй главе представлены данные о температуре, давлении и осадках, начиная с 1972 года по 2018, и их анализ на стационарность. Так же изменения представлены наглядно, в виде графиков.

В третьей главе приведены расчёты региона климатических изменений региона. Они выполнены, основываясь на стандартных климатических моделях, применимых для временных масштабов величиной в десятилетия.

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ МОРЯ БАФФИНА И ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О РЕГИОНЕ

Море названо в честь Уильяма Баффина, который возглавлял несколько экспедиций к берегам Гренландии (однако первенство открытия приписывают на Баффину, а Джону Дейвису, который достиг этих вод почти на двадцать лет раньше). У. Баффин первым описал акваторию, климат и близлежащие острова.

Но западный берег Гренландии, омываемый данным морем, был заселён задолго до прихода европейцев. Первые поселения датируют 500 г. до н. э.

Хозяйственная деятельность населения Гренландии всегда была тесно связана с морем – с первых поселений и до наших дней. Коренное население – инуиты и предшествующие им культуры, которые не сохранились до наших дней, занимались промыслом тюленей и китов. Эта деятельность не имела существенных воздействий на окружающую среду, в том числе на климат.

В восемнадцатом-девятнадцатом веках в регионе начинается активный китобойный промысел. Его итогом стало почти полное истребление поголовья китов- белух. Конечно, это сильно повлияло на экосистему и опосредованно на климат.

Численность китов влияет на количество фитопланктона в воде – китовьи

экскременты, богатые железом, благоприятная среда для развития этих микроорганизмов.

Фитопланктон удерживает в воде CO₂, накопление которого в атмосфере и является основной причиной глобального потепления. Именно наличие фитопланктона в водах мирового океана делает их «лёгкими планеты».

Дать точную оценку, как китобойный промысел 19 века повлиял на климат, затруднительно – систематические наблюдения за погодой в те времена не велись, как и наблюдения за составом воды. А реконструировать в наши дни с высокой точностью, как китобойный промысел повлиял на изменение климата два-три столетия назад, крайне затруднительно.

В более позднее время к антропогенным воздействиям добавилось судоходство. Активный трафик судов, туристических и грузовых, а так же промысловых, приходится на тёплую часть года, когда акватория свободна ото льда. Промышленные выбросы в регионе минимальны – Гренландия не относится к регионам с развитой промышленностью. Из значимых промышленных объектов на канадской территории был рудник Наниисвик, на котором велась добыча цинковой руды, но с 2002 года он закрыт.

Крупных городов на побережье также нет, а шельф канадского архипелага является заповедной территорией. Это значит, что за состоянием воды в акватории моря Баффина постоянно наблюдают.

Но влияние мировых выбросов нельзя исключать из воздействий на климат. Так же море постоянно меняется из-за естественных причин. Одна из основных – сейсмическая активность. Не настолько активная, как, например, в регионе Японского моря, но иногда наблюдаются существенные возмущения. Серьёзное землетрясение было зарегистрировано 2006 году – 6 баллов по шкале Рихтера.

Подобные явления видоизменяют рельеф дна, это может изменять сложившиеся морские течения, что напрямую воздействует на формирование климата. Так же таяние льда влияет на солёность воды. К изменениям солёности чувствителен фитопланктон, о важности которого в переработке CO₂ сказано выше, и криль, которым питаются киты. Таким образом, солёность воды влияет на все пищевые цепочки.

Все эти факторы, а так же их интенсивность, нужно учитывать при построении моделей для прогноза изменения климата. Это, в свою очередь, является сложной задачей, так как оценить вклад каждого отдельного фактора бывает крайне сложно.

Помогает в построении прогностических моделей, в том числе, оценка уже произошедших изменений климата, рассмотрению которых посвящена эта работа.

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ МОРЯ БАФФИНА

Море Баффина расположено в Северном полушарии и относится к бассейну Северного Ледовитого океана. Зарубежные источники иногда относят его к бассейну Атлантического, а не Северного Ледовитого океана. Так же иногда оно фигурирует в литературе как «пролив Баффина».

Море целиком расположено за Северным Полярным кругом. Протяженность с севера на юг составляет около 1130 км, площадь 530 тыс. км², объем 426 тыс. км³. Средняя глубина составляет 861 м, и этот показатель сильно варьируется: 240 м на севере и 700 м на юге. Наибольшая глубина отмечена в центре - 2414 м.

Для сравнения, самая глубокая точка Северного Ледовитого океана – 6625 м. Самая глубокая точка Мирового океана – около 11 тыс. м – Мариинская впадина. Если сравнивать средние глубины, то средняя глубина Северного Ледовитого океана 1225 м.

В соответствии с данными Международной гидрографической организации, границы моря Баффина определяются следующим образом:

На севере - линия от мыса Шеридан, Земля Гранта (82.583°N 60.750°W) до мыса Брайант, Гренландия.

На востоке - западное побережье Гренландии.

На юге - параллель 70° северной широты, между Гренландией и Землей Баффина.

На западе - восточные границы Северо-Западных проходов, а именно восточное побережье острова Элсмир между С. Шеридан и мысом Нортон Шоу (76.483°N 78.500°W), оттуда через Филлипс-Пойнт (остров Кобург), через него далее воображаемая линия проходит на полуостров Марина (75.917°N 79.167°W) и через мыс Фиц-Рой (остров Девон) вниз по Восточному побережью до мыса Шерард (мыс Осборн) (74.583°N 80.500°W) и через мыс Ливерпуль, остров Байлот (73.733°N 77.833°W); вниз по восточному побережью этого острова до мыса Грэм-Мур, его юго-восточной точки, а оттуда до мыса Маккалох (72.483°N 75.133°W) и вниз по восточному побережью острова Баффин до Ист-Блаффа, его юго-восточной оконечности, а оттуда до восточной границы Гудзонова пролива.

Таким образом, это море является полузамкнутым, что определяет его гидрологические и климатические особенности.

С южной стороны пролив Дейвиса мимо берегов Гренландии и Баффиновой земли

соединяет море Баффина через море Лабрадор с Атлантическим океаном.

На севере расположен пролив Нэрса, который состоит из ряда проливов и бассейна Кейна, с общей протяженностью более 500 км, он соединяет море Баффина с морем Линкольна, и через него с Северным Ледовитым океаном.

На западе мимо островов архипелага через так называемый Северо-Западный проход море Баффина также соединено с Северным Ледовитым океаном.

РЕЛЬЕФ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДНЯ МОРЯ БАФФИНА

Геологически море Баффина относится к Канадской арктической рифтовой системе. Это крупная геологическая структура, включающая в себя море Лабрадор, море Баффина и Канадский Арктический архипелаг. Система состоит из ряда взаимосвязанных рифтов (то есть огромных полос-разломов, длиной в сотни километров, а шириной в десятки метров, с крутыми отвесными стенками).

Данные рифты образовывались в палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры, где благодаря растягивающим напряжениям внутри системы сформировались тектонические особенности, такие как грабены, полуграбены, другие виды бассейнов, а также разломы.

Грабены представляют собой «провалы» между двумя складками породы, величиной от десятков до сотен метров. В грабенах на морском дне образуются «подводные озёра» (в подобных тектонических образованиях на континентальной поверхности также часто образуются озёра). Полуграбены представляют собой геологическое образование, когда только одна «складка» приподнята, а дно такого «подводного озера» скошено. Образуется своего рода порог, получается завихрение, если подводное течение следует через него.

Разнообразие геологических бассейнов в подобной системе довольно широко, они отличаются строением, особенностями движения воды в них и типами осадочных пород.

Стоит отметить окраинный континентальный бассейн – образование, характерное для морских шельфов. Там континентальная кора переходит в океаническую. Разломы разных морфологий (сдвиги, взбросы) так же присутствуют. Активных точек, где из недр могла бы поступать базальтовая масса или вулканические газы, в море Баффина нет.

В настоящий момент система достаточно стабильна, и движется вместе с североамериканской литосферной плитой. Наиболее сильное инструментально зафиксированное землетрясение в море Баффина произошло в 1933 г, с магнитудой 7,7.

В рельефе дна хорошо выражен материковый шельф, материковый склон и ложе.

Подводный рельеф северной части моря Баффина, к Югу от Гренландии, холмистый, неровный, напоминает рельеф затопленного мыса, длительное время (до затопления) подвергавшийся субаэральному выветриванию. Затопленные мысы суши переходят в наклонную поверхность, простирающуюся на расстояние 140 миль от берега и достигающую глубин 600 м, где она переходит в широкую террасу, которая и является собственно шельфом.

На восточной стороне моря Баффина шельф пересекают глубокие извилистые долины, которые являются продолжением долин западного побережья Гренландии. Рельеф дна между подводными долинами очень сходен с рельефом аналогичных участков суши. Профиль, проведенный на 3 от Гренландии (72° с ш.), показывает, что неровная, холмистая поверхность простирается на расстоянии 70 миль от берега, глубина не превышает здесь 300 м. Но за этой зоной дальше в море глубина увеличивается, и на расстоянии 140 миль от берега она достигает 400—500 м; в центральной части моря Баффина глубина резко увеличивается до 2300 м. В районе между крутым склоном и берегом на глубине 600 м проходят извилистые долины. Устья этих долин переходят в шельф вблизи верхней части крутого материкового склона.

На западной стороне моря Баффина наблюдается аналогичная картина; отличие заключается только в том, что шельф здесь уже и морфология его рельефа более сложная. Таким образом, образовавшиеся в плейстоцене в результате выветривания долины под воздействием ледников превратились в речные долины современной формы. Погружение и затем поднятие в эпохи, последующие за плейстоценом, явились последними стадиями морфологической истории этих районов с малыми глубинами. Центральная котловина моря Баффина имеет глубину в 5—10 раз большую, чем средняя глубина рассмотренных выше проливов Канадского Арктического архипелага. Дно центральной котловины ровное, имеет характер абиссальной равнины и по своей структуре сходно с истинно океаническим бассейном.

По-видимому, эта часть дна не подвергалась сколь-нибудь существенной субаэральной эрозии. Центральная котловина моря Баффина с востока и запада ограничена крутыми склонами, которые также лишены признаков как наземной эрозии, так и любых морфологических изменений, которые имели место на примыкающих к котловине участках

шельфа. На этих склонах нет никаких признаков продолжения погруженных долин и хребтов, которые прослеживаются на соседних шельфах. Происхождение центральной котловины моря Баффина неизвестно. Однако, принимая во внимание существенное отличие её подводного рельефа от рельефа прилегающего шельфа, можно предположить, что дно моря Баффина по своему происхождению отличается от дна в проливах, разделяющих острова Канадского Арктического архипелага. Море Баффина могло образоваться в результате процессов рифтообразования, разломообразования или прогибания земной коры.

СИНОПТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНА МОРЯ БАФФИНА

Район Баффина залива климатически очень похож на Атлантический регион, особенно это справедливо для его южного и западного субрегионов. Зимняя погода в обоих этих районах определяется, главным образом циклонами, развивающимися над Северной Атлантикой. В случае района Баффина залива циклоны перемещаются из районов их возникновения через пролив Дэвиса и Баффинов залив.

Циклоны приносят большое количество тепла и влажного воздуха. Поэтому температуры воздуха здесь заметно выше, чем в соседних регионах. Особенно высокие температуры отмечаются в восточной и северной частях области, где дополнительное тепло привносится в атмосферу Западно-Гренландским течением и стационарной полынью «Северная вода».

В районе Баффина залива вследствие большой повторяемости циклонов высокая облачность (> 60 %), осадки 50-60 мм, сильные ветра и большая суточная амплитуда температуры воздуха.

Рельеф окрестностей Баффина залива и пролива Дэвиса (горный рельеф Баффина залива и Гренландии с зонами оледенения) ограничивает пространственное развитие циклонов. В результате на суше значительно снижается температура воздуха. Наибольшие горизонтальные градиенты отмечаются в прибрежных районах, особенно в Гренландии. Из-за циркуляции воздуха в циклонах в западной части района Баффина залива преобладают северные и северо-западные ветры, а в восточной - юго-западные. Рельеф окрестностей Баффина залива и пролива Дэвиса (горный рельеф Баффина залива и Гренландии с зонами оледенения) ограничивает пространственное развитие циклонов. В результате на суше значительно снижается температура воздуха. Наибольшие горизонтальные градиенты отмечаются в прибрежных районах, особенно в Гренландии.

Из-за циркуляции воздуха в циклонах роза ветров выглядит следующим образом: в западной части района Баффина залива преобладают северные и северо-западные ветры, а в восточной - юго-западные.

Рельеф окрестностей Баффина залива и пролива Дэвиса (горный рельеф Баффина залива и Гренландии с зонами оледенения) ограничивает пространственное развитие циклонов. В результате на суше значительно снижается температура воздуха. Наибольшие горизонтальные градиенты отмечаются в прибрежных районах,

особенно в Гренландии. В циклонах в западной части района Баффинова залива преобладают северные и северо-западные ветры, а в восточной - юго-западные преобладают восточные ветры. Такой характер ветра приводит к возникновению более низких температур и осадков на побережье Баффинова острова, чем вдоль побережья Гренландии.

Летом также имеет место указанный выше температурный режим, но он связан в основном с океанической циркуляцией (а именно - холодное течение в западной части и теплое в восточной части). Пока циклоны здесь присутствуют, их частота и сила ниже, чем зимой.

Открытые воды увеличивают вероятность низкой облачности и туманов. Ветры имеют умеренную силу и менее стабильны над морской акваторией района Баффинова залива. Вдоль берегов Баффиновой Земли и Гренландии преобладают соответственно восточные и западные ветры.

Из-за большого скопления дрейфующих льдов, в том числе летом, навигация возможна только в небольшую часть года.

Целиком расположенное за Полярным кругом, между холодным Северным Ледовитым океаном и сравнительно теплой северо-западной частью Атлантического океана, море Баффина характеризуется климатом арктической зоны. Такому типу климата свойственны большие сезонные изменения температуры воздуха, малооблачная погода с небольшим количеством осадков, преобладание северных и северо-западных ветров. Зима очень холодная и сухая, лето холодное, с частыми туманами.

Море Баффина находится в зоне влияния Исландского атмосферного минимума и Полярной области повышенного давления, которые в основном определяют сезонные изменения атмосферной циркуляции над морем. Крупномасштабные барические поля над районом моря Баффина остаются более или менее стационарными в любой сезон.

Зимой сказывается воздействие отрога полярной области повышенного давления, следовательно, холодная и ясная погода преобладает. Самый холодный месяц – февраль. Среднемесячная температура от -20° на юге до -30° на севере. В южных районах, у побережья Гренландии, наблюдается до -18° .

Ветры в зимний сезон преимущественно северных направлений (северный, северо-западный), средняя скорость 7 м/с, иногда средняя скорость до 9 м/с.

Для зимнего периода характерно усиление циклонической активности. Североатлантические циклоны проходят над морем почти всегда в восточном и северо-восточном направлениях.

Характерные изменения погоды на период прохождения циклона: повышение температуры воздуха и усиление ветра.

Иногда наблюдаются порывы и штормовые ветра. В прибрежных районах у западного берега Гренландии регистрируются местные ветры — фены. Это сильные ветры, чья скорость может превышать 55 м/с. Они сухие, теплые, преимущественно северо-восточного, восточного и южного направлений, дуют с гор на низменности побережья. Могут вызывать резкое повышение температуры воздуха за сутки на 20° , а иногда и более, а также значительно понижать влажность. Фены стабильно отмечаются 1-2 раза в месяц, имеют продолжительность от нескольких часов до нескольких суток.

Летом Полярный максимум перемещается к северу, и его влияние на море Баффина

несколько ослабевает. В тёплую часть года над акваторией регистрируется сравнительно стабильная и неглубокая барическая ложбина - влияние Исландского минимума.

Это задаёт тенденцию с июня по август на ветра юго-западных и западных направлений, имеющих среднюю скорость 4-6 м/с. Есть тенденция увеличения скорости ветра при продвижении в открытое море, при удалении от гористых берегов Гренландии и архипелага южной части. Однако это она не так выражена, как в тёплых морях, из-за нагромождения дрейфующих ледяных массивов, которые гасят скорость ветра.

В летний период с периодичностью 1-2 раза в месяц регистрируются выходы циклонов с юго-запада. Это тёплые циклоны. Они проходят через море к северо-западному побережью Гренландии, вызывают усиление ветра и повышение температуры воздуха. Циклоны, в этом же сезоне приходящие также несколько раз в месяц из района Канадских Арктических островов к северному берегу Гренландии, приносят резкое похолодание на 10-12°, резкие порывистые ветра.

Из-за значительной протяжённости моря вдоль меридиана, можно отметить общую тенденцию к понижению температуры воздуха с юга на север. Самый тёплый месяц – июль. Средний максимум +5 +6° на юго-востоке, у побережья Гренландии, у северных границ моря он составляет только + 2+ 3°.

На открытых пространствах моря среднемесячная температура воздуха равна +4°, а максимальная +16°. Суточная амплитуда температуры воздуха небольшая, что характерно для ледовитой подстилающей поверхности.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Гидрологические условия и особенности моря Баффина определяются его положением в высоких арктических широтах. Так же значительную роль играет его ограниченная связь с Северным Ледовитым, но свободное сообщение с Атлантическим океанами.

В сравнительно небольшом по размеру море Баффина выделяют два разных географических типа структуры, а так же переходную зону смещения.

Тип Баффина занимает пространства примерно от центральных районов моря до западных и северо-западных берегов. Эта структура формируется под влиянием сезонного прогрева и охлаждения поверхности моря. Так же на её образование оказывают влияние приносимые с севера холодные воды и циркуляционные процессы. А так же поверхностные воды, холодные, с отрицательной температурой зимой и летом, и распресненные (с соленостью около 31‰) вследствие таяния ледников. Они поступают сюда из Арктического бассейна через северные проливы и распространяются от поверхности до горизонта 100 м.

Горизонты под ними, 100—500 м, иногда до 1000 имеют следующие характеристики: там залегают пласты более теплые (от -0,5 до 0°) и более соленые (33—34‰), их образование происходит в результате перемешивания вод при осенне-зимней конвекции.

От горизонтов 500—1000 м и до дна располагаются воды более холодные (-0,5—1°) с мало изменяющейся соленостью (около 34—34,5‰), глубинные воды. Они не участвуют в общей циркуляции моря Баффина, и их обновление происходит нерегулярно. Эти воды образуются в Арктическом бассейне и приходят в центральные районы моря через северные проливы.

Структура вод Западно-Гренландского типа наблюдается в районе от западного берега Гренландии до центральных районов моря Баффина. Она образуется в результате зимнего выхолаживания и летнего прогрева поверхности моря. Так же влияет проникновение теплых атлантических вод и циркуляционные процессы.

Эта структура включает в себя поверхностные воды и распространяется до горизонтов 200- 500 м. Зимой они имеют отрицательную температуру и соленость около 34‰, летом они прогреваются до 4-5°, а соленость вследствие таяния пресных ледяных структур понижается до 32‰.

От горизонта 300 до 750-1000 м находятся относительно теплые, температурой примерно от 0 до 2° и соленые (34—34,5‰) промежуточные воды. Их образование происходит из-за проникновения в море Баффина атлантических вод. Они заходят с юга и продвигаются в верхних слоях вдоль западных берегов Гренландии до о. Диско. При дальнейшем движении к северу эти воды, имея повышенную плотность, опускаются далее, в нижележащие горизонты.

Далее, под прослойкой промежуточных вод, в этой структуре находятся глубинные воды, с температурой -0,4° и соленостью немного большей 34,5‰. Температура и солёность воды на этих глубинах меняются незначительно при погружении далее в толщу.

Что касается температуры воды на поверхности моря Баффина, то она повышается с запада на восток. Это связано с влиянием холодных вод, поступающих через северные проливы и продвигающихся параллельно западным берегам, и потока теплых вод, который входит в море с юга и течёт к северу у побережья Гренландии и в центральных открытых районах моря.

Зимой в поверхностном слое температура равна -1,5 - 1,7°. Температура почти не изменяется с глубиной в подповерхностных горизонтах. Немного ниже она начинает повышаться, это объясняется тем, что поверхностное выхолаживание не затрагивает эти слои. Таким образом, на горизонте 100 м температура достигает -1,5° почти по всей центральной площади моря, в его восточной части -1°, а возле о. Диско — 0°. С глубиной температура продолжает повышаться, и на горизонте 300 м достигает 0—1°, а на 500-метровом горизонте достигает максимальных значений — 1—2°. Отсюда начинается понижение температуры, и в придонных слоях она равна -0,4—0,5°.

Летом море Баффина прогревается слабо. Это обусловлено тем, что значительная часть тепловой энергии расходуется на таяние дрейфующих льдов, а из-за высокой отражающей способности тех же льдов не так много солнечной радиации поглощается поверхностью моря.

Альbedo поверхности северных морей – изменчивая величина, особенно в летний период. Ледяная поверхность способна отражать до 80-90% солнечной радиации, поглощая всего 10-20% той, которая доходит до поверхности планеты, совсем малая часть.

Тёмная же вода, свободная ото льда, имеет куда меньшую отражающую способность и поглощает 40-60% радиации.

Чем больше свободной воды – тем больше тепловой энергии поглощает море в целом, тем быстрее тает лёд, тем большие и большие пространства очищаются. Таким образом, Альbedo уменьшается в геометрической прогрессии.

В дальнейшем этот процесс приведёт к тому, что верхние слои воды будут

прогреться сильнее. Это будет иметь долгоидущие последствия для климата региона и всей экосистемы, начиная от морских микроорганизмов и эндемичных птиц, и заканчивая высшими млекопитающими, такими как киты.

Очищение моря ото льда в летний период увеличивает время и интенсивность навигации. Это влияет на жизнь и естественные циклы китов и тюлений, обитающих в проливе.

Кроме того, при таянии ледником происходит опреснение воды, это значит, что рыбы и микроорганизмы, приспособленные к большей солёности, серьёзно сократят свою численность, массово мигрируют, а некоторые виды вовсе вымрут. Много зависит от того, насколько быстро будет происходить процесс опреснения. В зависимости от этого экосистема успешно или не очень перестроится и сохранит биоразнообразие, или существенно в нём потеряет.

В любом случае, если поверхность воды продолжит нагреваться, а ледники – таять, через 30-50 лет регион будет выглядеть совсем иначе.

Но на сегодняшний день температура воды на поверхности невысока. Её значения в пределах моря варьируются от 0° (талая вода) до 5°. Наиболее низкая температура воды наблюдается у юго-западного берега и в центральной части моря.

Несколько сильнее прогревается поверхность в прибрежных водах Гренландии, в северной и северо-западных частях центрального бассейна моря.

В северных проливах температура воды отрицательная. В этот сезон характерно существование поверхностного относительно прогретого слоя, простирающегося до 10 м в глубину, от которого температура вначале довольно резко теплеет до горизонтов 15-20 м, а затем плавно понижается.

На горизонте 100 м равна –1-1,5°. Лишь у берега Гренландии, примерно до о. Диско, она имеет значение на этих глубинах 0-1°. Далее с углублением в толщу вод температура вновь повышается до 1,5- 2° на горизонте 500 м, а затем снова понижается до показателей –0,4° у дна.

Так же стоит отметить, что для моря Баффина характерно слабое волнение на море, следовательно, не очень активные конвективные процессы. Это происходит из-за преобладания ветров с малыми скоростями и присутствия значительного количества льда на протяжении почти всего года.

В летние месяцы обычно наблюдается волнение 1-2 балла, то есть очень спокойные волны. Осенью волнение иногда увеличивается до 3-4 баллов и очень редко достигает 5 баллов и более, то есть серьёзные штормовые волны для моря Баффина не характерны.

Однако это лишь отчасти упрощает навигацию, так как наибольшую опасность для судов в этом северном море представляют не волны или порывистые ветра, а дрейфующие льды. Велика опасность попасть в ледяную ловушку и оказаться запертым. Это неоднократно происходило с китобойными судами прошлого, когда инструменты навигации, прогнозы погоды и сами суда были далеки от совершенства.

Наиболее часто волнение наблюдается при северных и северо-западных ветрах. Вследствие небольших разгонов преобладают волны высотой до 0,8—1 м. Даже при жестоких осенних штормах высоты волн немногим превышают 1 м. Зыбь отмечается на юго-востоке моря, у побережья Гренландии.

ТЕЧЕНИЯ МОРЯ БАФФИНА

Основные черты горизонтального движения вод главным образом формируются под влиянием притока из Северного Ледовитого и Атлантического океанов. Постоянные течения на поверхности моря образуют циклоническую циркуляцию.

С юга, из Девисова пролива, в море входит теплое Западно-Гренландское течение и со скоростью 10—20 см/с движется к северу вдоль западного берега Гренландии. Дойдя до пролива Смит, оно поворачивает на юг и юго-запад и направляется вдоль восточного побережья островов Элсмир и Девон. Лишь незначительная часть вод этого течения продвигается через пролив Смит дальше на север и заходит в бассейн Кейн. Из северных проливов в море Баффина втекает холодное Канадское течение, которое движется со скоростью 25 см/с и более на юг и юго-восток вдоль восточного берега о. Баффинова Земля и уходит в Девисов пролив.

В южной части центрального бассейна моря прослеживается круговорот, значительно вытянутый по меридиану. Скорость движения в нем порядка 2—5 см/с.

Слабо выраженное круговое движение вод против часовой стрелки отмечается на горизонтах 100—500 м. Его образование связано с поступлением вод через Девисов пролив в восточную часть моря.

Приливные колебания в море Баффина существенны. Они вызывают две приливные волны. Одна из них поступает из Атлантического океана через Девисов пролив, а вторая — из Северного Ледовитого, океана через Северные проливы. Эти волны встречаются в бассейне Кейн, недалеко от м. Фрайзер. Приливы преимущественно полусуточные, но у западного берега Гренландии между 70 и 78° с.ш. неправильные полусуточные.

В открытых районах моря средняя величина прилива 0,8-1,2 м.

В зависимости от берегового рельефа и особенностей дна, средняя величина прилива варьируется от 3 до 5 м. Этот показатель максимален у восточного побережья Баффиновой Земли, там приливы достигают 6, в редких случаях 7 м.

Приливные течения в открытых районах моря реверсивные, направлены при приливе на северо-северо-запад, а при отливе направление на юго-восток.

Скорости приливных течений выше недалеко от береговой полосы, в открытом море течения спокойнее.

Кроме приливных колебаний на уровне воды сказываются сезонные изменения.

Они имеют место из-за внутригодовой разности атмосферного давления.

Разница между самым высоким и самым низким среднемесячными значениями уровня в году достигает 10 см (справедливо для центральной части моря).

В прибрежной зоне прослеживаются сгонно-нагонные колебания уровня. У западного берега Гренландии уровень воды повышается при ветрах западных направлений, и понижается при восточных ветрах. На о. Баффинова Земля сгоны и нагоны не так явно выражены, как на побережье Гренландии.

Во время существования припай характерны заприпайные полыньи и разряжения. Наибольшая заприпайная полынья известна в северо-восточной части акватории. Довольно часто в зимний период припай взламывается при сильных ветрах, в основном это регистрируется у западного побережья Гренландии. Но затем схватывается вновь в короткие сроки.

Летний сезон, когда ледяной покров уменьшается, начинается в конце мая - начале июня. Разрушение ледяного покрова сначала происходит в юго-восточных районах моря, позже распространяется к западу и северо-западу. Примерное время, когда разрушается припай вдоль западного побережья Баффиновой Земли и в северных проливах - третья декада июля.

В летний период большие морские пространства свободны ото льда, к середине августа акватория свободна на три четверти.

Плавающие льды характерны для западной части моря и скапливаются (но не все из них образуются) именно там. Это связывают с особенностями циркуляции воды поверхности. В основном в этом районе дрейфуют многолетние льды, большинство из них принесены течением через северные проливы из арктического региона.

Для региона моря Баффина характерно больше количество айсбергов. Эта особенность привлекает туристов и исследователей, потому как к айсбергам здесь можно подобраться сравнительно безопасно.

Айсберги в регионе, в большинстве своём, образуются от ледников Гренландии, которые выходят к самому западному побережью. В среднем высота известных айсбергов от 30 до 60 м, но описаны экземпляры до 90 и даже до 100 м. Айсберги дрейфуют, переносимые морскими течениями. Обычный маршрут выглядит следующим образом: из района образования массивы переносятся сначала на север, следуя вдоль западного берега Гренландии, далее на юг и юго-запад, мимо восточного побережья моря.

Больше всего айсбергов наблюдается в начале тёплой части года, весной и в начале лета.

В западной части моря выделяют Баффинский ледяной массив. Его составляют локальные однолетние льды, айсберги и, в меньшей степени, принесённые из северных проливов ледяные массы.

Массив вытянут с юга на север и, как правило, примыкает к берегу Баффиновой Земли. В некоторые годы ледяной массив на время рассасывается. Но даже если это случается, к концу лета лёд в этой области восстанавливается.

Когда приходит осенний сезон и температуры воздуха понижаются, в море появляются первичные формы льда, которые могут таять и формироваться снова вплоть до времени устойчивого зимнего льдообразования.

ГЛАВА 2.

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЫХ РЯДОВ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА И ОСАДКОВ

Расчет климатических данные произведем по данным метеостанции 4220 в Гренландии.

Координаты станции: 68.70N,-52.80E, высота на уровне моря 48 м.

Выгрузка данных представляет собой временные ряды с января по декабрь с 1958 года по 2018 год. Данные выгружаются с числовыми параметрами. Предварительная обработка временных рядов включает исключение пустых и выпадающих значений (-999.99) из рядов для их последующей обработки.

Хронологический график ряда наблюдений после предварительной обработки выглядит следующим образом:

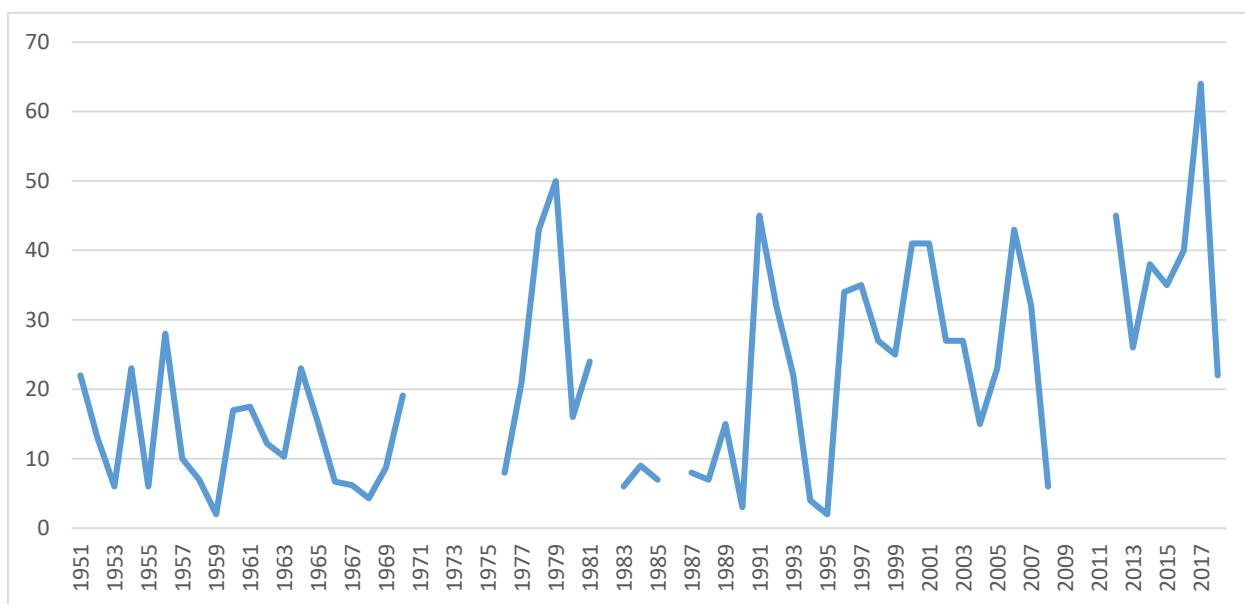


Рисунок 1 - Хронологический график сумм осадков за январь на ст. Гренландии

На основании представленного графика сумм осадков в районе нахождения метеостанции можно увидеть, что параметры не равномерны и имеют множество экстремальных значений от минимума до максимума за всю историю наблюдений. Для обработки ряда данных был выбран январь по всему периоду исследований.

Приведем анализ однородности распределения осадков.

Объем выборки в нашем случае составляет – 58 ед.

Модель линейного тренда характеризуется зависимостью рассматриваемой климатической характеристики (Y) от времени (t). Приведем построенный график эмпирического распределения осадков на рисунке ниже.

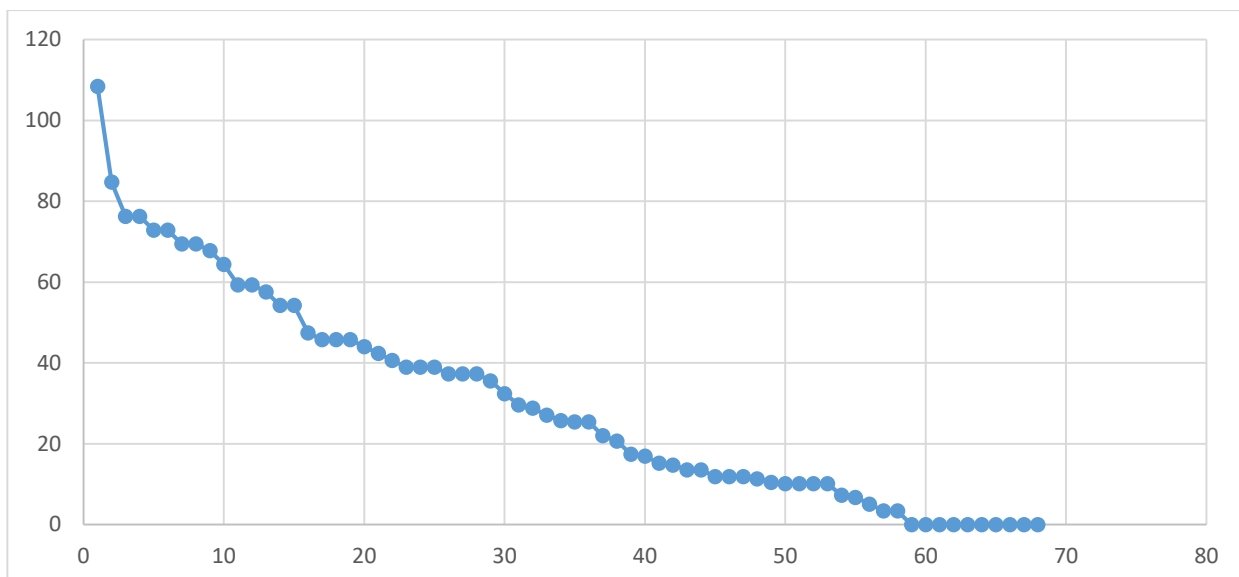


Рисунок 2 - Распределение осадков за январь на ст. Гренландии

На основании представленных данных можно сделать вывод, что эмпирическое распределение ряда данных по осадкам в районе выбранной станции колеблется от максимального значения в 108 ед. до минимального значения в 68 ед. за выбранную историю наблюдений.

Приведем расчет статистик критерия Диксона. Для максимального и минимального члена ранжирования, расчет данных представлен в таблицах ниже. Представленные расчёты выполнены в редакторе таблиц Excel

Среднее значение $Y_{ср} = 21.124$ ед.

Дисперсия $\sigma_y^2 = 288.500$ ед.

Среднее квадратическое отклонение $\sigma_y = 14.498$ ед.

Определим коэффициенты модели линейного тренда для дальнейших расчетов:

- коэффициенты уравнения регрессии $b_1 = 3.669$ ед.; $b_0 = -105.453$ ед.

- коэффициент корреляции $R = 0.199$

При этом критическое значение коэффициента корреляции $R^* = 0.250$.

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$. В нашем случае, условие не выполняется.

- стандартное отклонение $\sigma_e = 14.499$

- дисперсия остатков $\sigma_e^2 = 288.501$.

Представим модель линейного тренда на графике временного ряда.

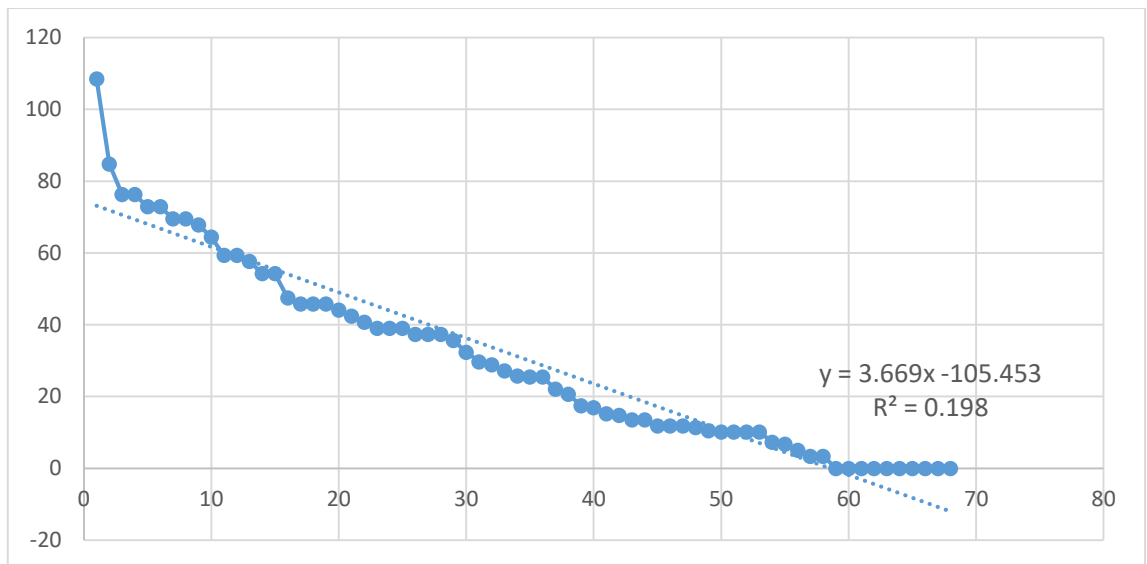


Рисунок 3 – Линейная модель осадков

Разобьем график временного ряда на две части по дате наиболее вероятного ступенчатого изменения. Для каждой из двух частей рассчитаем основные параметры выборки: среднее значение, дисперсию, среднее квадратическое отклонение (таблица ниже).

Таблица 1 – Расчет показателей

Показатель	Значение
$Y_{ср1}$	21.109
$Y_{ср2}$	21.254
$n1$	57
$n2$	56
дисп. 1	288.373
дисп. 2	294.639

Рассчитаем стандартное отклонение остатков относительно модели ступенчатых изменений ($\sigma_{ступ}$) по формуле.

$$\sigma_{ступ} = 15.796$$

Представим модель ступенчатых изменений на графике временного ряда.

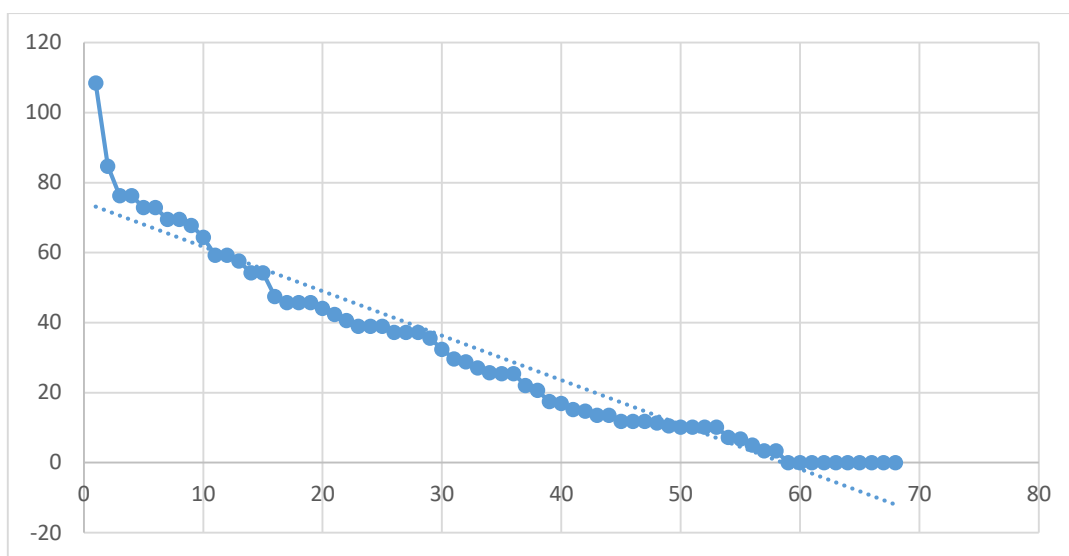


Рисунок 4 – Модель ступенчатых изменений

Рассчитаем коэффициенты автокорреляции временного ряда при τ от 1 до 30:

Коэффициент асимметрии - 0.704

Коэффициент автокорреляции - 0.438.

Приведем данные автокорреляционной функции временного ряда ($r_\tau = f(\tau)$), в редакторе Excel и на нём выберем 1-2 наибольших значения.

2017 – 64 ед.

1979 – 50 ед.

1991 – 45 ед. и т.д.

Для максимального и минимального числа ранжирования данные представлены в таблице ниже. Уровень значимости обычно задается равным 5 %, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95 %.

Таблица 2 – Расчет критериев

Экстремум	Критерий	Расчетное	Критич.	Уровень значимости	Вывод
Макс	Диксон1	0.33	0.26	0.1	Неоднороден
Макс	Диксон2	0.18	0.13	0.0	Неоднороден
макс	Диксон3	0.09	0.17	0.1	Неоднороден
макс	Диксон4	0.10	0.17	0.1	Неоднороден
макс	Диксон5	0.05	0.16	0.1	Неоднороден
мин	Диксон1	-0.11	0.12	0.2	Неоднороден
мин	Диксон2	-0.02	0.34	0.4	Неоднороден
мин	Диксон3	-0.17	0.33	0.5	Неоднороден

<i>мин</i>	<i>Диксон4</i>	<i>-0.25</i>	<i>0.32</i>	<i>0.6</i>	<i>Неоднороден</i>
<i>мин</i>	<i>Диксон5</i>	<i>-0.13</i>	<i>0.32</i>	<i>0.5</i>	<i>Неоднороден</i>
<i>мак</i>	<i>Смирнов-Граббс</i>	<i>2.96</i>	<i>3.61</i>	<i>0.7</i>	<i>Неоднороден</i>
<i>мин</i>	<i>Смирнов-Граббс</i>	<i>1.04</i>	<i>2.41</i>	<i>1.4</i>	<i>Неоднороден</i>

Оценка однородности по критериям состоит в сравнении расчетного значения статистики критерия, полученной по эмпирическим данным, с ее критическим значением из таблиц при заданном уровне значимости (α), объеме выборки (n), коэффициентах автокорреляции [$\rho(1)$] и асимметрии (C^*). В нашем случае получаем данные, близкие к значению однородности.

После вычисления Q и $\rho(1)$ оценим их статистическую значимость. С учетом удвоенной стандартной случайной погрешности (σ_{Par}) значение любого параметра (Par) будет находиться внутри доверительного интервала:

$$Par - 2\sigma_{par} < Par < Par + 2\sigma_{Par}$$

$$64 - 1.04 < 64 < 64 + 2.96$$

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений соответственно по критериям Фишера и Стьюдента временной ряд разбивается на две или несколько подвыборок одинаковой или разной длины, причем границы разбиения желательно связать с датами предполагаемого нарушения стационарности. По каждой подвыборке вычисляются значения средних ($F_{ср}$) и дисперсий (σ^2), которые используются для получения расчетных значений статистики Фишера.

Таблица 3 – Расчет критерия Фишера

<i>Критерий Фишера</i>	<i>Критическое</i>
<i>0.983</i>	<i>1.530</i>

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданном уровне значимости α (%). если расчетное значение статистики критерия меньше критического ($F < F^*$) при заданных степенях свободы, соответствующих объемам выборок (n и n_2). Критические значения статистики Фишера (F^*) в зависимости от уровня значимости α (%), коэффициентов внутрирядной [$\rho(1)$] и межрядной корреляции (R) при равных объемах двух выборок ($n_x = n_y$)/

Таблица 4 – Расчет классического критерия Фишера

<i>Классический критерий Фишера</i>	
<i>n1f</i>	23.951
<i>n2f</i>	23.530

В нашем случае гипотеза подтверждается, т.к. выполняется условие $F < F^*$

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента для оценки стационарности двух средних значений последовательных подвыборок представлено ниже.

Таблица 5 – Расчет критерия Стьюдента

<i>Крит. Ст.</i>	11.029
<i>Критич. Ст.</i>	3.760

Критические значения статистики Стьюдента определяются при равных объемах выборок рассчитываем по формулам из учебника (В.А. Лобанов, И.А. Смирнов, А.Е. Шадурский Практикум по климатологии. Часть 1.).

Оценка стационарности по критерию Стьюдента осуществляется также путем сравнения расчетных и критических значений статистик. Если расчетное значение меньше критического при заданном уровне значимости, гипотеза об однородности (стационарности) не отклоняется. В рассмотренном случае гипотеза подтверждается частично.

Оценка стационарности осадков была проведена также для остальных месяцев года и результаты анализа, помимо представленного месяца, полные расчеты приведены в Приложении-1.

В таблице ниже знаком «+» представлен вывод о принятии гипотезы однородности и стационарности, а знаком «-» - об ее отклонении. Если расчетное значение статистики критерия близко к критическому, но превышает его, то в таблице также приводится уровень значимости, соответствующий расчетному значению критерия. В этом случае вывод о принятии или отклонении гипотезы однородности и стационарности является сомнительным и заключается в скобки.

Таблица 6 - Результаты оценки стационарности месячных сумм осадков по

критериям Диксона (Д), Фишера (Ф) и Стьюдента (Ст) на метеостанции Гренландии

Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст
<i>Январь</i>			<i>Февраль</i>			<i>Март</i>		
-	+	-	-	+	-	-	+	-
Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст
<i>Апрель</i>			<i>Май</i>			<i>Июнь</i>		
-	+	-	-	+	-	-	+	-
Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст
<i>Июль</i>			<i>Август</i>			<i>Сентябрь</i>		
-	+	-	-	+	-	-	+	-
Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст
<i>Октябрь</i>			<i>Ноябрь</i>			<i>Декабрь</i>		
-	+	-	-	+	-	-	+	-

Анализ таблицы позволяет сделать вывод, что все распределения сумм осадков по месяцам являются неоднородными. Установлена нестационарность дисперсий и особенно средних в холодные месяцы года. Полученная нестационарность вполне может быть обусловлена сменой приборов для регистрации осадков, причем предшествующий осадкомер не позволял нейтрализовать ветровое выдувание осадков, что особенно характерно для твердых осадков и для станций, находящихся на морском побережье в зоне больших ветров.

ГЛАВА 3

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В АКВАТОРИИ МОРЯ БАФФИНА

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Выбран ряд среднегодовых значений давления по метеостанции 04220 в Гренландии с 1972 по 2001 г.

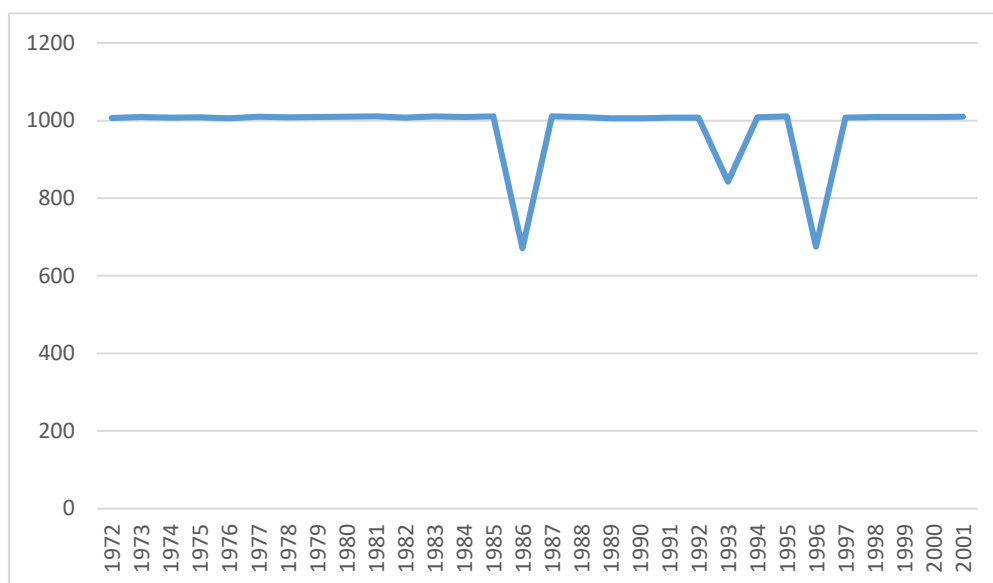


Рисунок 5 - Хронологический график среднегодовых значений давления для метеостанции 04220 в Гренландии

Расчёт основных параметров временного ряда

Среднее значение давления за весь период - $Y_{cp} = 980.694$ ед.;

Дисперсия $\sigma_y^2 = -3.410 \cdot 10^{-13}$ ед.

Среднее квадратическое отклонение $\sigma_y = 88.973$ ед.

Определим коэффициенты модели линейного тренда для дальнейших расчетов:

- коэффициенты уравнения регрессии $b_1 = -1.797$ ед.; $b_0 = 1008.550$ ед.

- коэффициент корреляции $R = -0.177$

- коэффициент автокорреляции $r_1 = -0.111$

При этом критическое значение коэффициента корреляции $R^* = 0.361$.

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$. В рассмотренном случае условие не выполняется.

- стандартное отклонение $\sigma_e = 0.697$
- дисперсия остатков $\sigma_e^2 = 77.5$
- коэффициент асимметрии $R = -3.164$

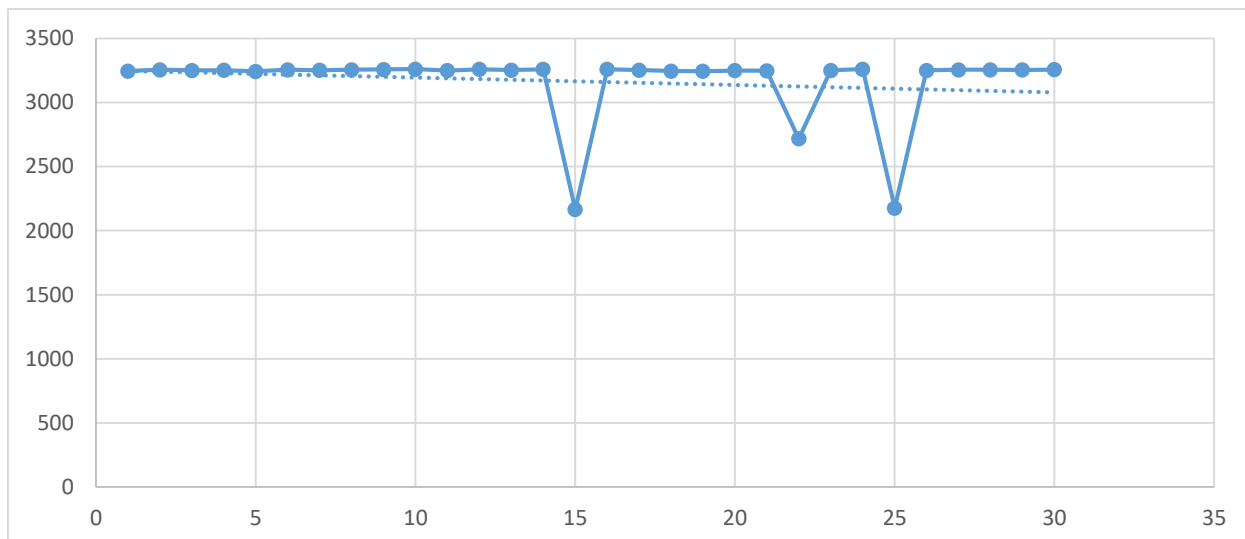


Рисунок 6 – Модель линейного тренда

Определение параметров модели ступенчатых изменений. Временной ряд разбит на 3 интервала со следующими параметрами:

1972-1981: $n = 10$, $Y_{lcp} = 1008.565$ ед., $\sigma = 1.730$ ед., $\sigma_2 = 7.579 \cdot 10^{-14}$ ед.

1982-1991: $n = 10$, $Y_{lcp} = 974.710$ ед., $\sigma = 106.650$ ед., $\sigma_2 = 3.79 \cdot 10^{-14}$ ед.

1992-2001: $n = 10$, $Y_{lcp} = 958.808$ ед., $\sigma = 112.647$ ед., $\sigma_2 = 1.768 \cdot 10^{-13}$ ед.

Общее стандартное отклонение остатков ступенчатой модели по формуле:

$$\sigma_{ступ} = 8.737$$

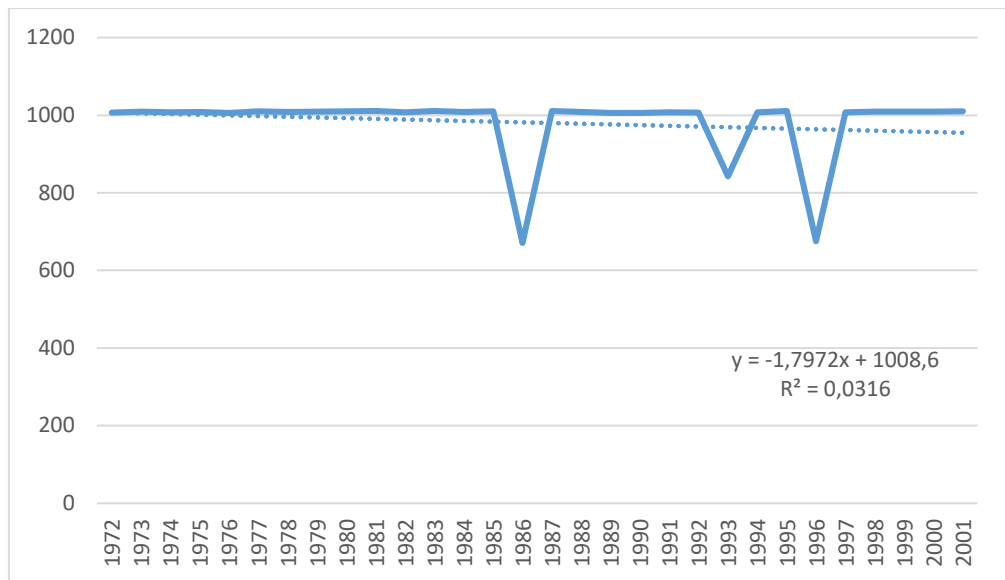


Рисунок 7 - Аппроксимация моделью линейного тренда среднегодовых значений давления для метеостанции 04220 в Гренландии

Временной график модели ступенчатых изменений (рис. ниже).

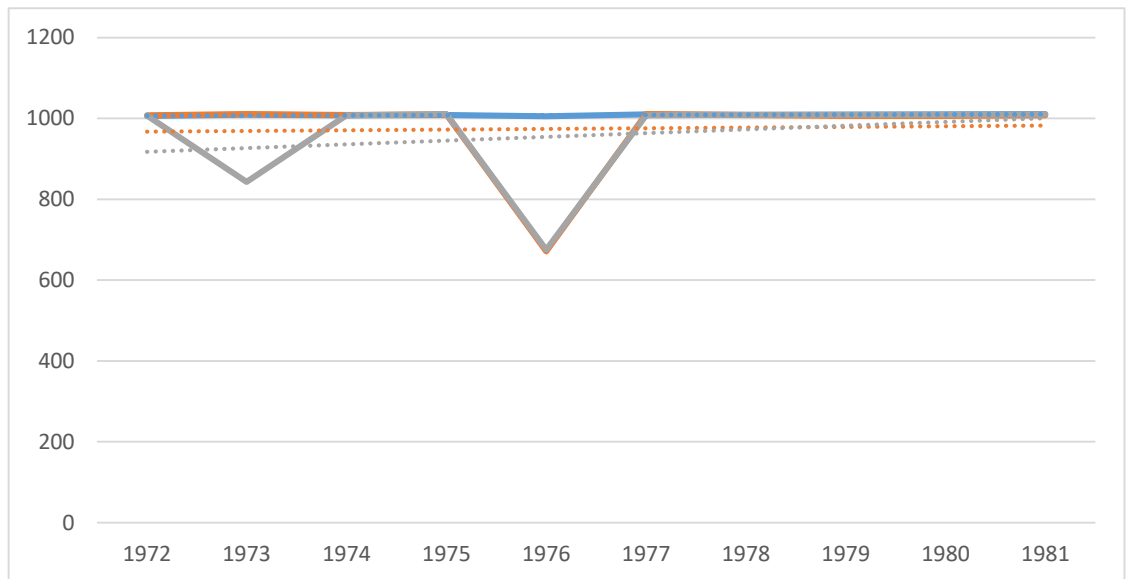


Рисунок 8 - Аппроксимация моделью ступенчатых изменений среднегодовых значений давления для метеостанции 04220 в Гренландии

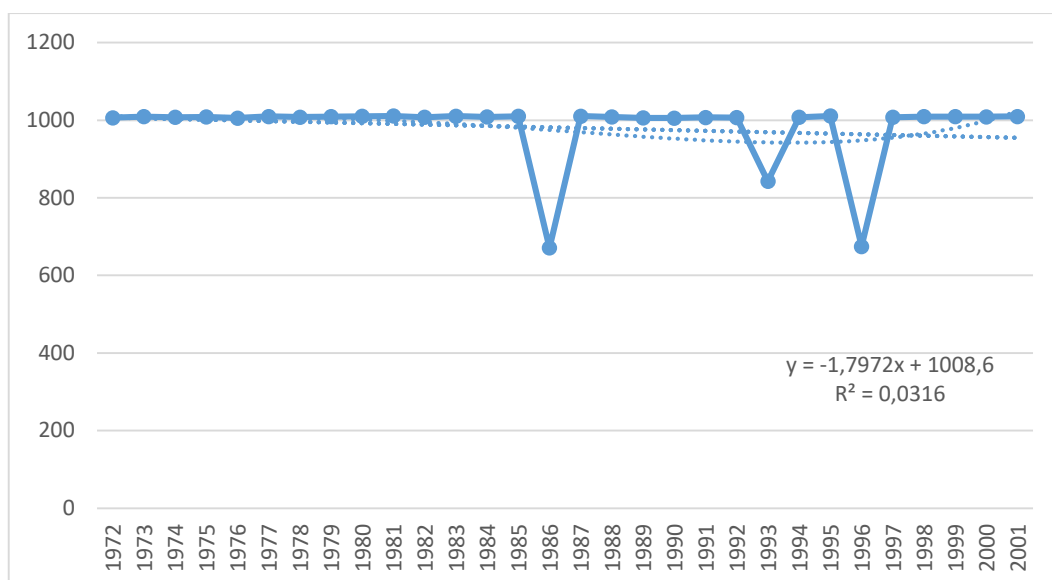


Рисунок 9 - Автокорреляционная функция среднегодовых значений давления для

Наибольшие значения: при периодах $T = 1986$ и 1996 лет.

$R^* = 0.361$ при $\alpha = 5\%$, число степеней свободы = 0 ($n - \tau - 2 = 30 - 28 - 2$).

Определение коэффициентов гармонической модели при $T_1 = 1986$ года и $T_2 = 1996$ года.

Для 1986 года

- $b_1 = 0.002$ ед.;

- $b_0 = 980.669$ ед.

- коэффициент корреляции $R = 1$

Для 1996 года

- $b_1 = 5.103$ ед.;

- $b_0 = 901.592$ ед.

- коэффициент корреляции $R = -1$

При этом критическое значение коэффициента корреляции $R^* = 0.361$.

Получено, что коэффициенты уравнения регрессии и коэффициент корреляции статистически незначимы.

Временной график модели гармонических колебаний (рис. ниже).

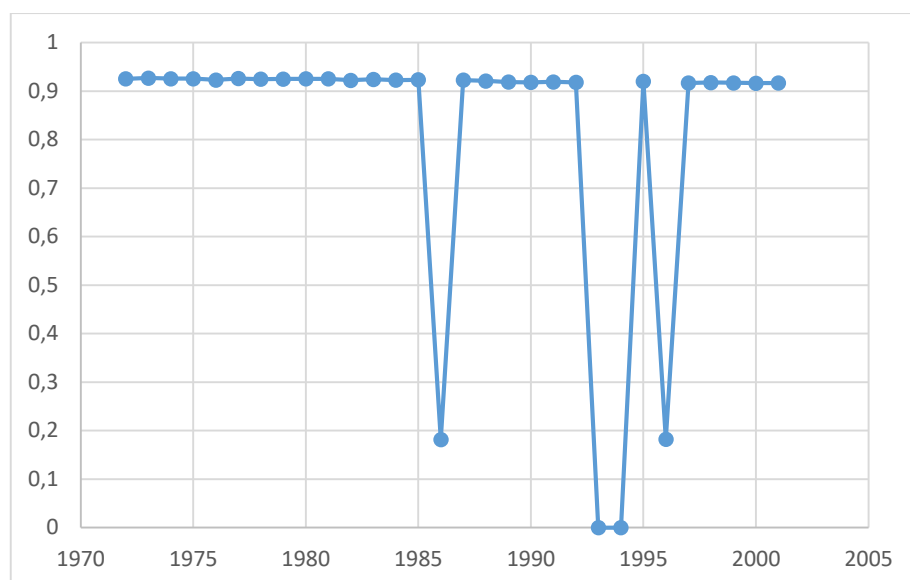


Рисунок 10 - Аппроксимация моделью гармонических колебаний среднегодовых значений давления

Таблицы с параметрами моделей линейного тренда, гармонических колебаний и ступенчатых изменений.

Таблица 7 - Характеристики модели линейного тренда

n	$b1$	$b0$	R	R^*	Вывод	σ	$\Sigma ступ$
30	-1.797	1008.550	-0.178	0.361	-	0.000	8.731

Таблица 8 - Характеристики гармонической модели

n	$b1$	$b2$	$b0$	R	R^*	Вывод	Σ	$\Sigma гар$
30	0.000	0.000	980.694	-0.275	0.361	+	0.289	-2.335

Таблица 9 - Характеристики ступенчатой модели

Ступень	n	$Y_{ср}$	Σsy	$\sigma s2$
1	10	1008.565	1.730	0.000
2	10	974.710	106.651	0.000
3	10	958.808	112.674	0.000
сумма	30	2942.083	221.055	0.000

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ МОДЕЛИ

Таблица 10 - Выбор эффективности модели

n	σ_y	σ_ε	$\sigma_{\varepsilon_{гар}}$	$\sigma_{стун}$	$\Delta_{тр} \%$	$\Delta_{гар} \%$	$\Delta_{стун} \%$	FTP	$FGAP$	$FCTYII$
30	0.000	0.289	-2.335	8.731	0.001	0.068	-0.003	0.000	0.000	0.000

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Выбран ряд среднегодовых температур воздуха по метеостанции 04220 в Гренландии с 1990 по 2019 г.,

Временной график ряда (рис. ниже).

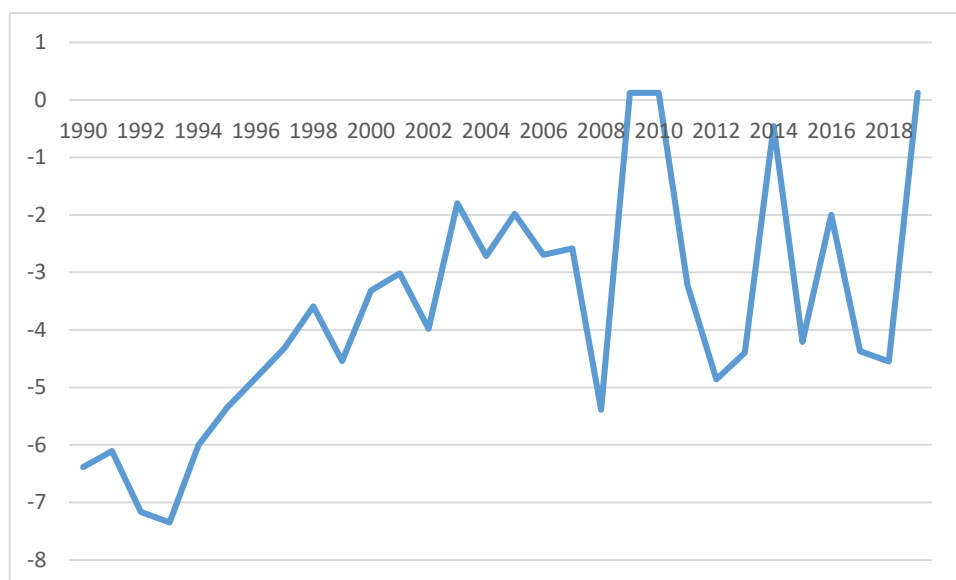


Рисунок 11 - Хронологический график среднегодовой температуры

Расчёт основных параметров временного ряда

Среднее значение температуры за весь период - $T_{ср} = -3.694$ °C,

Дисперсия $\sigma_y^2 = -4.134$ ед.

Среднее квадратическое отклонение $\sigma_y = 2.058$ ед.

Определим коэффициенты модели линейного тренда для дальнейших расчетов:

- коэффициенты уравнения регрессии $b_1 = 0.1399$ ед.; $b_0 = -5.863$ ед.

- коэффициент корреляции $R = 0.598$

- коэффициент автокорреляции $r_1 = 0.429$

При этом критическое значение коэффициента корреляции $R^* = 0.361$.

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$. В нашем случае, условие выполняется.

- стандартное отклонение $\sigma_e = 3.729$

- дисперсия остатков $\sigma_e^2 = 77.5$

- коэффициент асимметрии $R = 0.297$

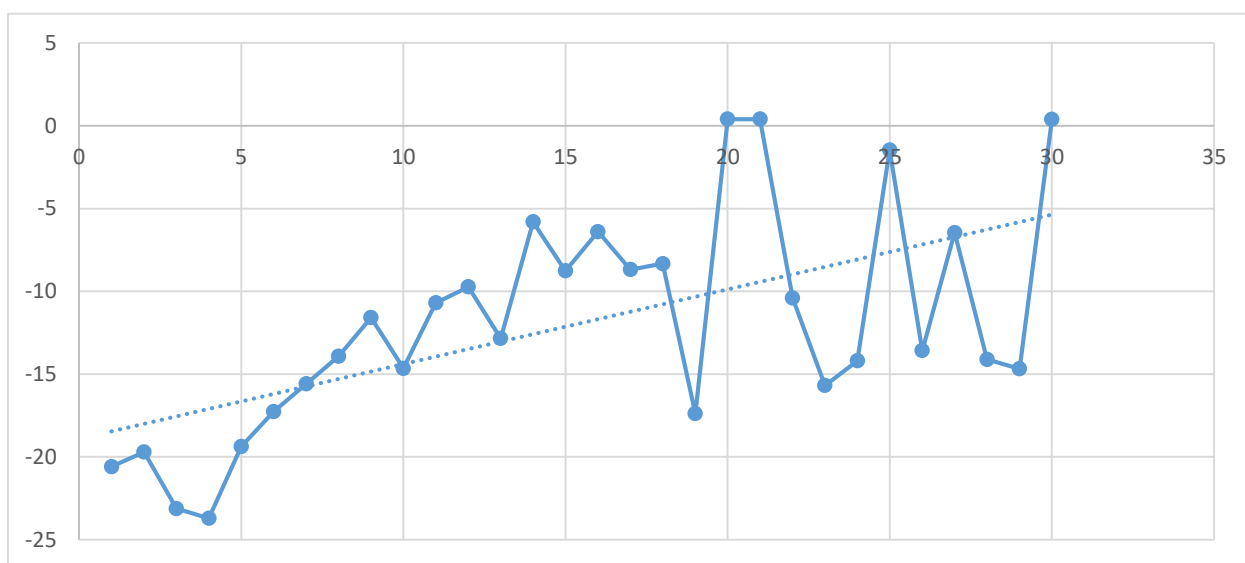


Рисунок 12 – Модель линейного тренда температуры

Определение параметров модели ступенчатых изменений. Временной ряд разбит на 3 интервала со следующими параметрами:

1990-1999: $n = 10$, $Y_{1cp} = -5.565$ °C, $\sigma = 1.247$ °C, $\sigma_2 = 0$ °C.

2000-2009: $n = 10$, $Y_{1cp} = -2.734$ °C, $\sigma = 1.440$ °C, $\sigma_2 = 0$ °C.

2010-2019: $n = 10$, $Y_{1cp} = -2.782$ °C, $\sigma = 2.048$ °C, $\sigma_2 = 0$ °C

Общее стандартное отклонение остатков ступенчатой модели по формуле:

$$\sigma_{стун} = 1.278$$

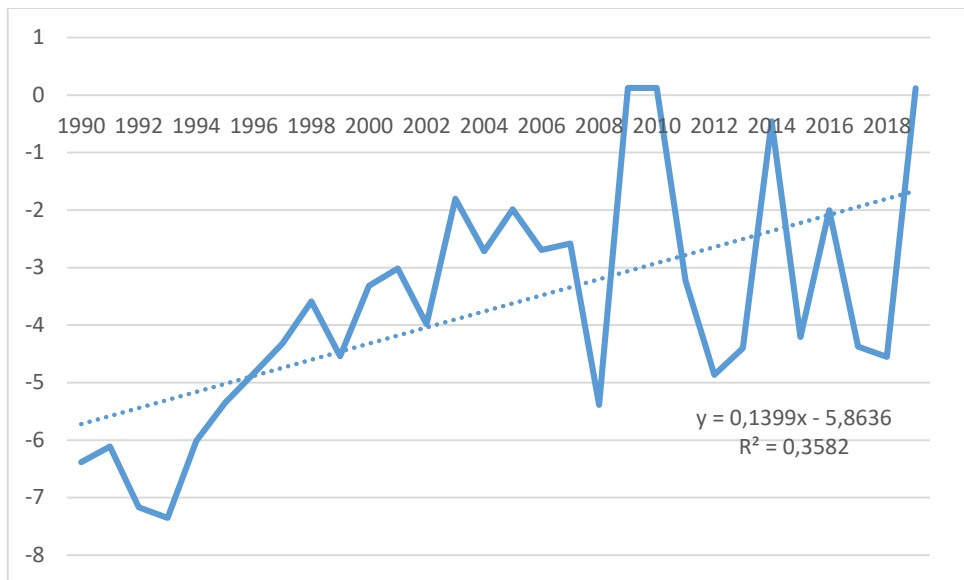


Рисунок 13 - Аппроксимация моделью линейного тренда среднегодовой температуры воздуха

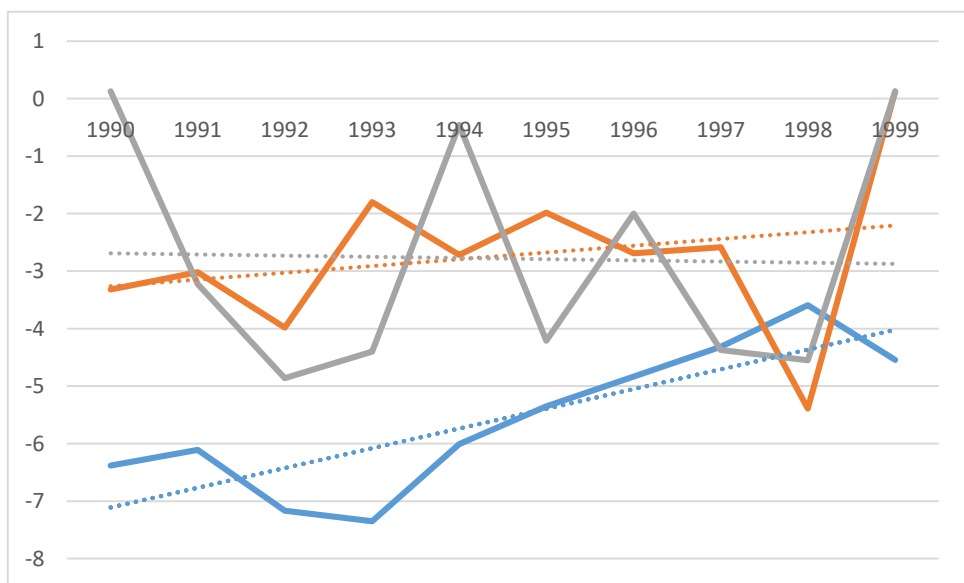


Рисунок 14 - Аппроксимация моделью ступенчатых изменений среднегодовой температуры воздуха

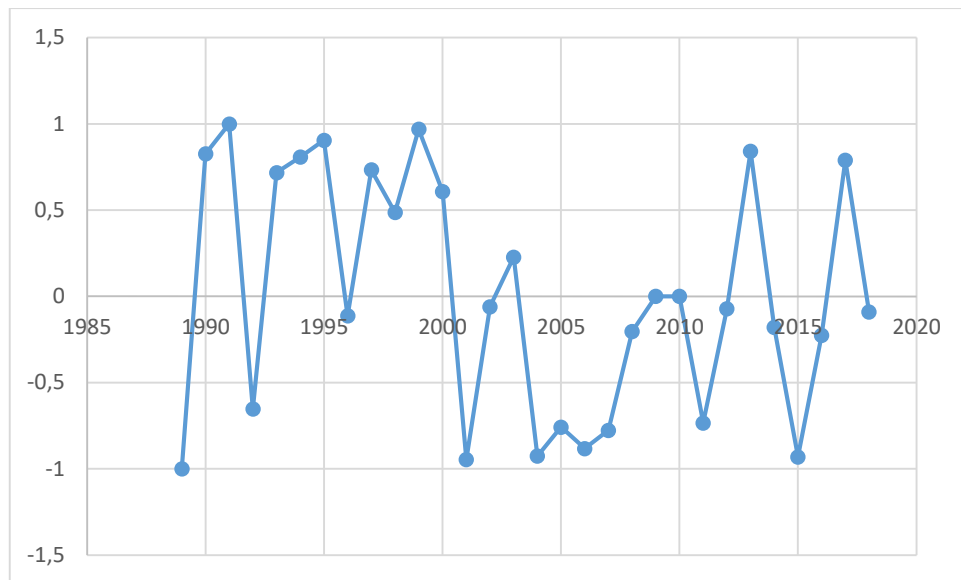


Рисунок 15 - Автокорреляционная функция среднегодовой температуры воздуха

Наибольшие значения: при периодах $T = 2010, 2014$ и 2019 годы.

$R^* = 0.361$ при $\alpha = 5\%$, число степеней свободы = 0 ($n - \tau - 2 = 30 - 28 - 2$).

Определение коэффициентов гармонической модели при $T_1 = 2010$ года и $T_2 = 2014$ года.

Для 2010 года

- $b_1 = 1.440$ ед.;

- $b_0 = -26.014$ ед.

- коэффициент корреляции $R = 1$

Для 2014 года:

- $b_1 = 19.695$ ед.;

- $b_0 = -308.967$ ед.

- коэффициент корреляции $R = 1$

При этом критическое значение коэффициента корреляции $R^* = 0.361$.

Получено, что коэффициенты уравнения регрессии и коэффициент корреляции статистически незначимы.

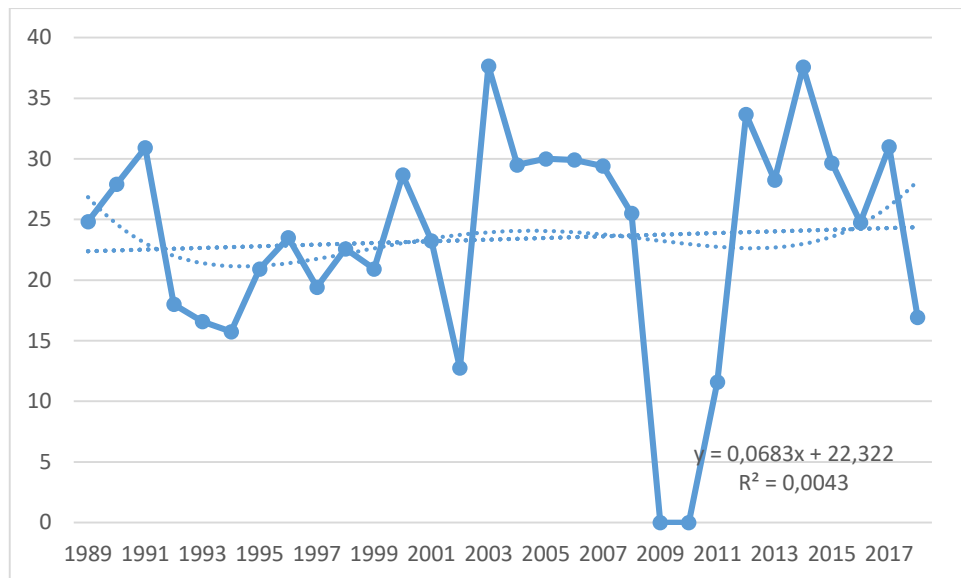


Рисунок 16 - Аппроксимация моделью гармонических колебаний среднегодовой температуры воздуха

Таблицы с параметрами моделей линейного тренда, гармонических колебаний и ступенчатых изменений.

Таблица 11 - Характеристики модели линейного тренда

n	$b1$	$b0$	R	R^*	Вывод	σ	$\sigma_{ступ}$
30	0.140	-5.864	0.598	0.361	+	0.000	1.278

Таблица 12 - Характеристики гармонической модели

n	$b1$	$b2$	$b0$	R	R^*	Вывод	σ	$\Sigma_{гар}$
30	0.000	0.000	-3.695	-0.130	0.361	-	0.733	-0.186

Таблица 13 - Характеристики ступенчатой модели

Ступень	n	$Y_{ср}$	Σ_{sy}	σs^2
1	10	-5.565	1.247	0.000
2	10	-2.736	1.440	0.000
3	10	-2.783	2.048	0.000
сумма	30	-11.084	4.735	0.000

Выбор эффективной модели и её значимости по отношению к стационарной выборке.

Таблица 14 - Выбор эффективности модели

N	σ_y	σ_ε	$\sigma_{\varepsilon_{гар}}$	$\sigma_{стун}$	$\Delta_{тр} \%$	$\Delta_{гар} \%$	$\Delta_{стун} \%$	FTP	$FGAP$	$FCTVII$
30	0.000	0.733	-0.186	1.278	1.774	-4.488	0.309	0.000	0.000	0.000

ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ

Выбран ряд среднегодовых значений осадков по метеостанции 04220 в Гренландии с 1989 по 2018 г., которые представлены в Приложении-1

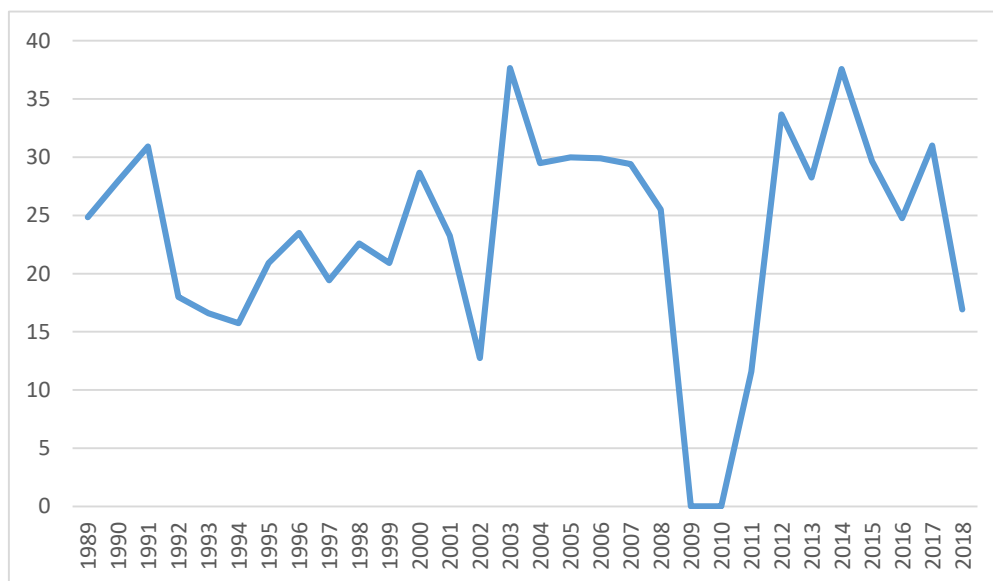


Рисунок 17 - Хронологический график среднегодовых значений осадков

Расчёт основных параметров временного ряда

Среднее значение осадков за весь период - $T_{cp} = 23.381$ ед.;

Дисперсия $\sigma_y^2 = 3.157 \cdot 10^{-15}$ ед.

Среднее квадратическое отклонение $\sigma_y = 9.203$ ед.

Определим коэффициенты модели линейного тренда для дальнейших расчетов:

- коэффициенты уравнения регрессии $b_1 = 0.068$ ед.; $b_0 = 22.322$ ед.

- коэффициент корреляции $R = 0.065$

- коэффициент автокорреляции $r_1 = 0.411$

При этом критическое значение коэффициента корреляции $R^* = 0.361$.

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$. В нашем случае, условие выполняется.

- стандартное отклонение $\sigma_\varepsilon = 2.237$

- дисперсия остатков $\sigma_e^2 = 83.241$

- коэффициент асимметрии $R = -0.962$

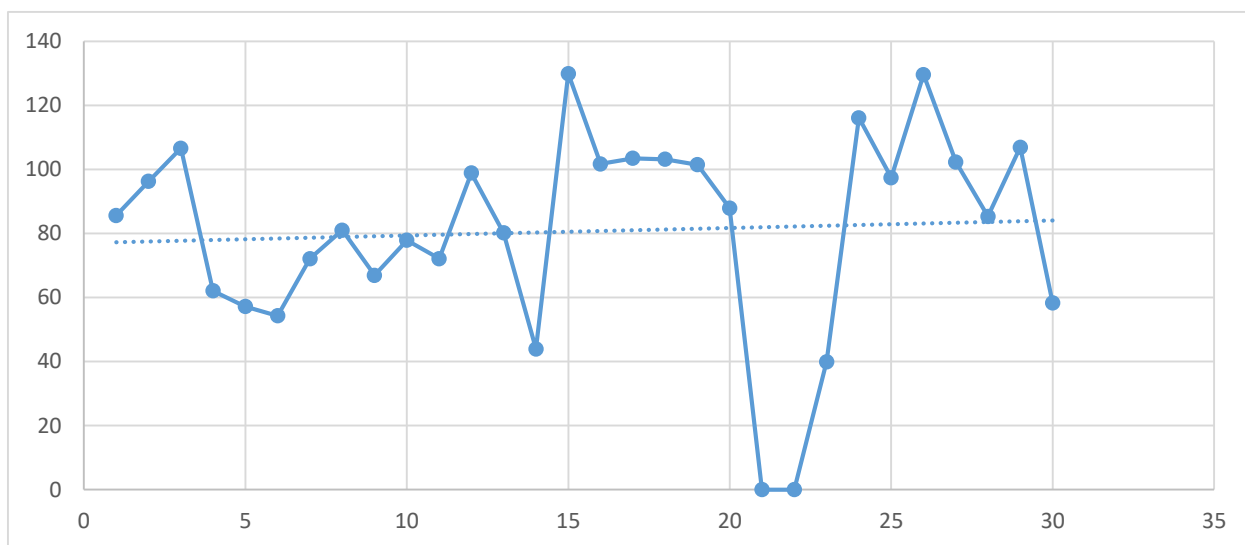


Рисунок 18 – Модель линейного ряда осадков

Определение параметров модели ступенчатых изменений. Временной ряд разбит на 3 интервала со следующими параметрами:

1989-1998: $n = 10$, $Y_{1cp} = 22.042$ ед., $\sigma = 4.914$ ед.; $\sigma_2 = 2.763 \cdot 10^{-15}$ ед.

1999-2008: $n = 10$, $Y_{1cp} = 26.758$ ед., $\sigma = 6.683$ ед.; $\sigma_2 = 7.895 \cdot 10^{-15}$ ед.

2009-2018: $n = 10$, $Y_{1cp} = 21.341$ ед., $\sigma = 13.594$ ед.; $\sigma_2 = 1.974 \cdot 10^{-15}$ ед.

Общее стандартное отклонение остатков ступенчатой модели по формуле:

$\sigma_{ступ} = 2.947$

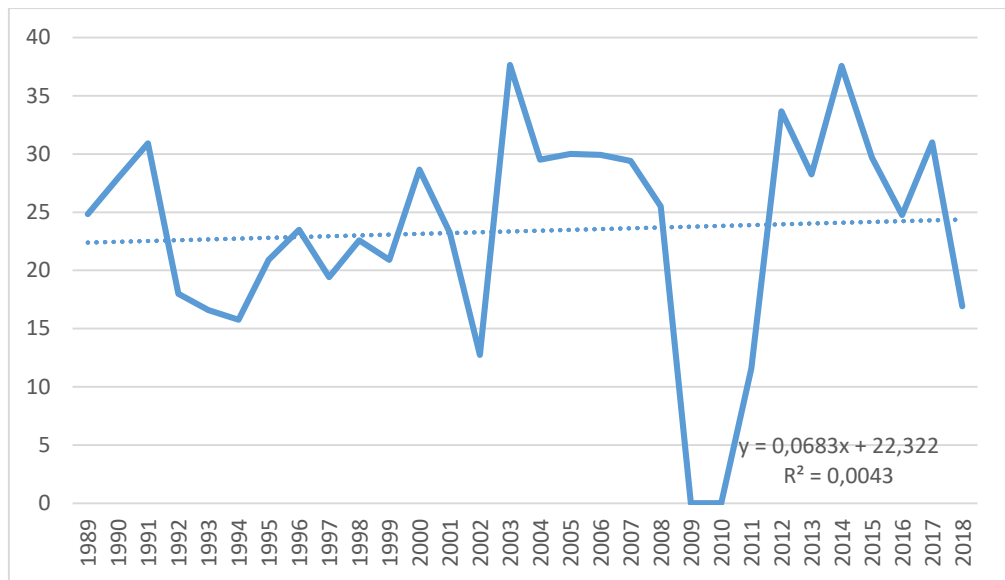


Рисунок 19 - Аппроксимация моделью линейного тренда среднегодовых значений осадков

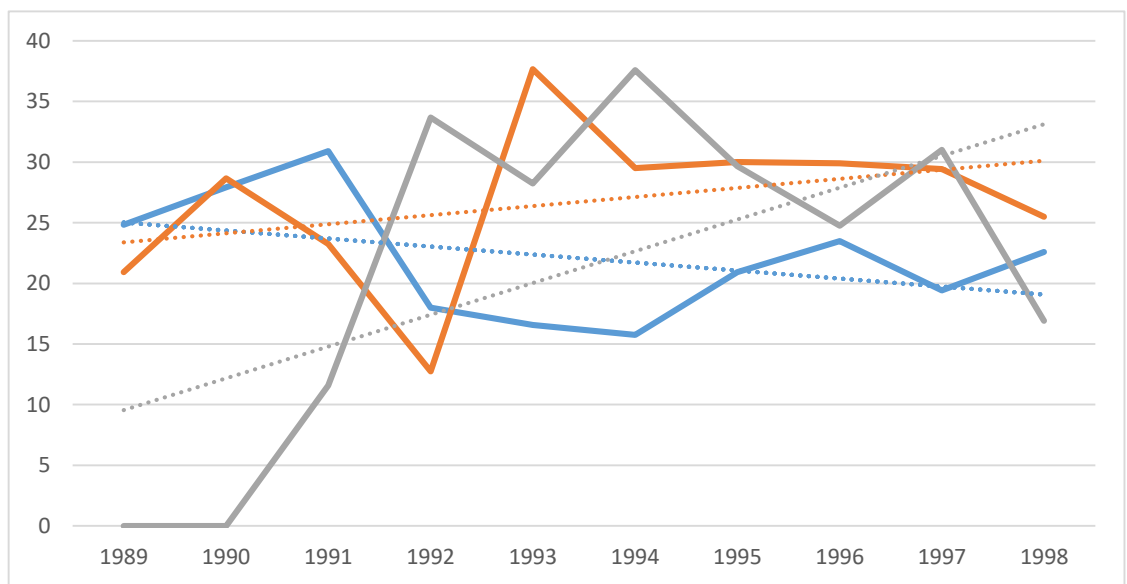


Рисунок 20 - Аппроксимация моделью ступенчатых изменений осадков

График автокорреляционной функции временного ряда $r\tau = f(\tau)$ до $\tau = 30$ (рис. ниже).

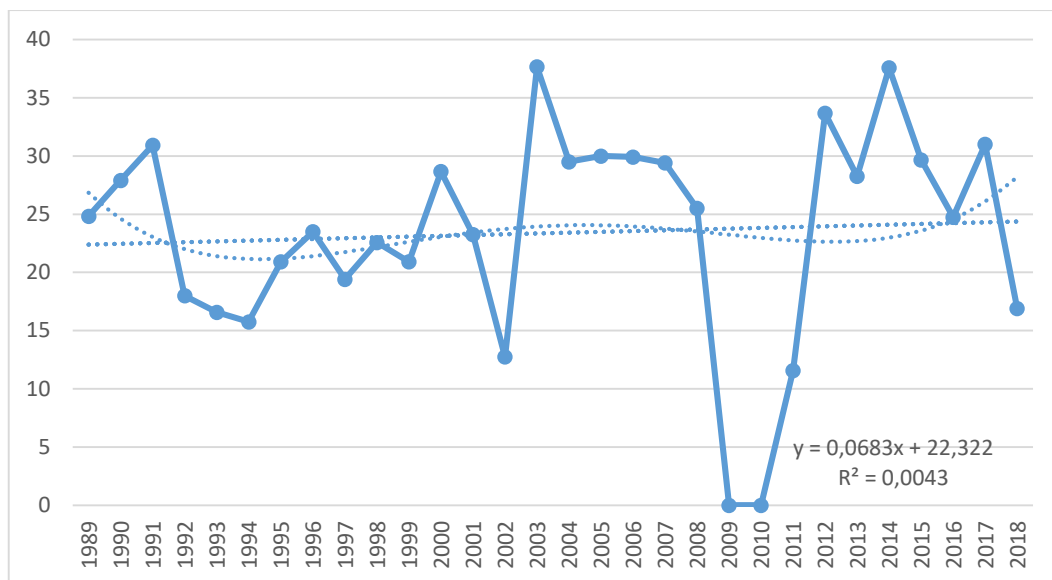


Рисунок 21 - Автокорреляционная функция среднегодовых значений осадков для

Наибольшие значения: при периодах $T = 2010, 2014$ и 2018 лет.

$R^* = 0.361$ при $\alpha = 5\%$, число степеней свободы = 0 ($n - \tau - 2 = 30 - 28 - 2$).

Определение коэффициентов гармонической модели при $T_1 = 2010$ года и $T_2 = 2014$ года.

Для 2010 года:

- $b_1 = -0.235$ ед.;

- $b_0 = 27.028$ ед.

- коэффициент корреляции $R = -1$

Для 2014 года:

- $b_1 = 6.245$ ед.;

- $b_0 = -73.418$ ед.

- коэффициент корреляции $R = 1$

При этом критическое значение коэффициента корреляции $R^* = 0.361$.

Получено, что коэффициенты уравнения регрессии и коэффициент корреляции статистически незначимы.

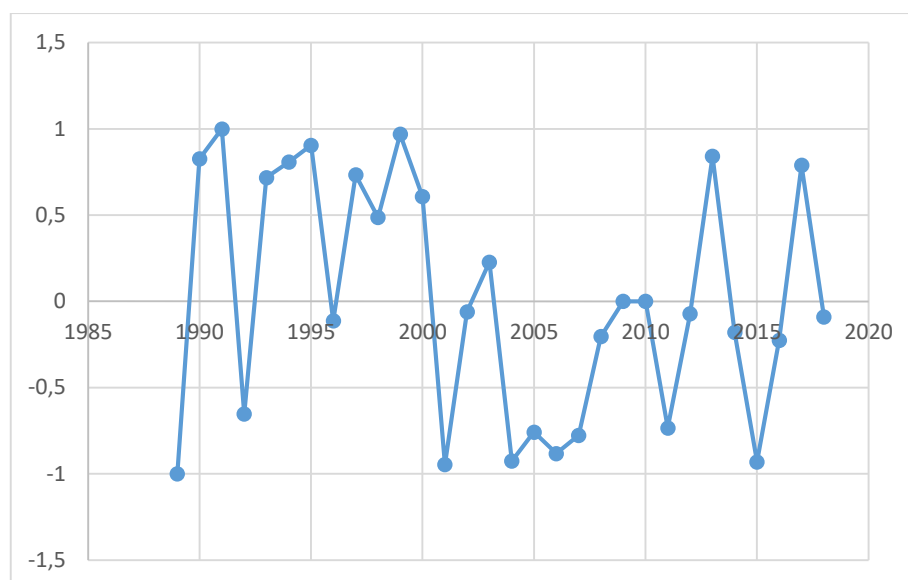


Рисунок 22 - Аппроксимация моделью гармонических колебаний среднегодовых значений осадков

Далее представлены таблицы с параметрами моделей линейного тренда, гармонических колебаний и ступенчатых изменений.

Таблица 15 - Характеристики модели линейного тренда

n	$b1$	$b0$	R	R^*	Вывод	σ	$\sigma_{ступ}$
28	0.068	22.322	0.065	0.361	+	0.000	2.947

Таблица 16 - Характеристики гармонической модели

n	$b1$	$b2$	$b0$	R	R^*	Вывод	σ	$\Sigma_{гар}$
28	0.000	0.000	23.381	-0.266	0.361	-	0.690	-0.033

Таблица 17 - Характеристики ступенчатой модели

Ступень	N	$Y_{ср}$	σ_{y}	σ_{s2}
1	10	22.042	4.914	0.000
2	10	26.758	6.683	0.000
3	10	21.342	13.595	0.000
сумма	30	70.142	25.192	0.000

Выбор эффективной модели и её значимости по отношению к стационарной выборке.

Таблица 18 - Выбор эффективности модели

n	σ_y	$\Sigma \varepsilon$	$\sigma_{\varepsilon_{гар}}$	$\sigma_{ступ}$	$\Delta_{тр} \%$	$\Delta_{гар} \%$	$\Delta_{ступ} \%$	FTP	$FGAP$	$FCTVII$
28	0.000	0.690	-0.033	2.947	-0.219	0.104	0.093	0.000	0.000	0.000

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было проведено исследование данных осадков, давления и температуры.

Использовано несколько разных моделей для оценки климатических изменений. Наиболее эффективной из их показала себя модель ступенчатых изменений, эффективнее стационарной модели на 7% для показателей осадков и давления и на 3% для показателей температуры. Однако, отличие от стационарной модели пока не является статистически значимым, то есть высока вероятность ошибок.

Что касается климатических изменений в море Баффина, то с 1989 по 2018 замечена тенденция к увеличению среднегодовой температуры. Так же вырос показатель среднегодового количества осадков.

В свою очередь, среднегодовые значения атмосферного давления понизились, что согласуется с увеличением количества осадков, так как осадки в регионе являются вследствие циклонической деятельности.